



Научная статья
 УДК: 338.439:658.7:004.9
 doi: 10.55186/25876740_2026_69_1_65

СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ «АГРОЛОГИСТИКА 4.0» И ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА

О.В. Шумакова, О.Н. Крюкова, А.А. Дегенгардт, А.А. Загоренко

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина,
 Омск, Россия

Аннотация. В условиях ускоряющейся цифровизации агропромышленного комплекса возрастает необходимость количественной оценки влияния цифровых технологий и институциональных изменений на устойчивость продовольственных систем. В статье, опираясь на авторскую модель цифровой логистической экосистемы «Агрологистика 4.0», разработана интегральная макро-модель глубинной трансформации мирового сельского хозяйства, включающая технологический, климатический, потребительский и политико-институциональный блоки. На основе данных ФАО за 2015–2023 гг. построен интегральный индекс, позволяющий оценить вклад цифровизации, изменения структуры спроса, государственной поддержки и климатической нагрузки в динамику агропродовольственных систем. Применение метода цепных подстановок показало, что рост технологического и потребительского блоков в рассматриваемый период во многом компенсируется ухудшением климатического компонента, а роль государственной политики носит преимущественно компенсирующий характер. С использованием сценарного подхода рассматриваются четыре варианта цифровой трансформации до 2035 г., для которых рассчитаны значения интегрального индекса; факторное разложение изменений показателя выполнено для ретроспективного периода 2015–2023 гг. и сценария «Прорыв». По результатам анализа предложены практические рекомендации по настройке экономической политики и цифровых инструментов для повышения устойчивости и точности прогнозирования развития агропродовольственных систем. Теоретическая и эмпирическая база исследования включает рецензируемые научные публикации и отраслевую статистику по цифровой логистике, продовольственной безопасности, устойчивости агросистем и моделированию системных рисков.

Ключевые слова: агрологистическая экосистема, продовольственная безопасность, цифровизация АПК, устойчивое развитие, интеграция данных, прогнозирование рисков, цифровые платформы, инновационные технологии, адаптивное управление

Благодарности: статья была подготовлена при поддержке гранта РНФ на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований No 24-28-20382 «Эволюционная концепция организационно-экономического механизма глубинной трансформации рыночных законов, процессов и барьеров в мировом сельском хозяйстве в условиях необходимости сохранения устойчивости продовольственных систем».

Original article

SCENARIO ANALYSIS OF FOOD SYSTEM RESILIENCE BASED ON THE «AGROLOGISTICS 4.0» MODEL AND AN INTEGRATED INDEX

O.V. Shumakova, O.N. Kryukova, A.A. Degengardt, A.A. Zagorenko

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

Abstract. In the context of accelerating digitalization of the agro-industrial complex, there is a growing need for quantitative assessment of the impact of digital technologies and institutional changes on the resilience of food systems. Building on the author's model of the digital logistics ecosystem «Agrologistics 4.0», the paper develops an integrated macro-model of the deep transformation of global agriculture, comprising technological, climate, consumer and politico-institutional blocks. Using FAOSTAT data for 2015–2023, an aggregate index is constructed that makes it possible to assess the contribution of digitalization, changes in demand structure, government support and climate pressure to the dynamics of agri-food systems. Application of the chain substitution method shows that the growth of the technological and consumer blocks over the period under review is largely offset by the deterioration of the climate component, while the role of public policy is predominantly compensatory. A scenario approach is used to examine four variants of digital transformation up to 2035, for which the values of the integral index are calculated; factor decomposition of changes in the indicator is performed for the retrospective period 2015–2023 and for the «Breakthrough» scenario. Based on the results, practical recommendations are proposed for adjusting economic policy and digital instruments in order to enhance the resilience and forecasting accuracy of agri-food system development. The theoretical and empirical basis of the study includes peer-reviewed scholarly publications and industry statistics on digital logistics, food security, agri-system resilience and systemic risk modelling.

Keywords: agrologistic ecosystem, food security, digitalization of the agro-industrial complex, sustainable development, data integration, risk forecasting, digital platforms, innovative technologies, adaptive management

Acknowledgements: this article was prepared with the support of the Russian Science Foundation (RSF) grant for fundamental and exploratory research No. 24-28-20382, «An evolutionary concept of the organizational and economic mechanism for the deep transformation of market laws, processes and barriers in global agriculture under the need to ensure the resilience of food systems».

Введение. Устойчивость продовольственных систем становится ключевым вызовом на фоне роста населения, усиления климатических рисков и ограниченности ресурсов. При значительных потерях вдоль цепочки «от поля до стола» возрастает необходимость повышения эффективности и адаптивности агропродовольственных цепочек, включая их логистическую инфраструктуру. Важным направлением решения данной задачи выступает цифровая трансформация агропромышленного комплек-

са, обеспечивающая повышение прозрачности цепей поставок, снижение транзакционных издержек и улучшение качества прогнозирования на основе технологий IoT, аналитики данных, искусственного интеллекта и блокчейна.

Вместе с тем цифровизация носит неоднозначный характер: её развитие ограничивают фрагментация информационных систем, высокие издержки внедрения и недостаток компетенций, особенно у малых и средних хозяйств и логистических операторов. В отсутствие ин-

ституциональной координации и экономических стимулов существует риск усиления неравномерности технологического развития и снижения совокупного эффекта цифровых инноваций. Дополнительным ограничителем выступает климатический фактор: рост углеродной нагрузки аграрного производства и увеличение частоты экстремальных погодных явлений усиливают неопределённость поставок и повышают уязвимость продовольственных рынков.



В предыдущих исследованиях автором разработана интегральная модель цифровой логистической экосистемы «Агрологистика 4.0», объединяющая интеграцию с государственными информационными системами, инфраструктурный агроаркетплейс и контур прослеживаемости на основе технологий блокчейн и IoT [1]. Данная архитектура формирует основу для сквозной координации участников агрологистики и обеспечивает методическую рамку для анализа технологических, институциональных и экономических условий устойчивости.

Цель исследования — на основе модели «Агрологистика 4.0» и интегрального индексного подхода оценить влияние технологических, институциональных, экономических и климатических факторов на устойчивость продовольственных систем, а также определить возможные траектории их развития до 2035 г. Объект исследования — агропродовольственные системы на глобальном уровне. Эмпирическая часть исследования опирается на агрегированные данные FAOSTAT за 2015–2023 гг., использованные для построения частных индексов и интегрального показателя, а сценарный анализ позволяет сопоставить альтернативные конфигурации факторов и их вклад в изменение устойчивости.

Анализ литературы. Современные исследования подчёркивают, что цифровизация агропродовольственных цепей является ключевым направлением повышения их устойчивости и эффективности. Технологии Industry 4.0 — Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект, блокчейн и цифровые платформы — способствуют снижению издержек, росту прозрачности и ускорению обмена данными между участниками цепочек поставок [5; 10]. По мнению Wang et al., интеграция IoT-сенсоров, аналитики больших данных и распределённых реестров формирует новый уровень управляемости агрологистических систем и обеспечивает переход к адаптивным, саморегулирующимся продовольственным сетям [10].

Значительная часть исследований посвящена практическим аспектам внедрения цифровых решений. Применение блокчейна в сочетании с IoT обеспечивает сквозную прослеживаемость продукции и сокращает время реагирования при сбоях или нарушениях безопасности [4]. Аналогичные выводы содержатся в докладе Всемирного банка, где подчёркивается, что цифровая прослеживаемость «от поля до прилавка» повышает доверие между звеньями цепи и снижает потери [12]. Одновременно развивается рынок цифровых агроплатформ, объединяющих производителей, логистику и сбыт. По данным отчёта ISF Advisors, платформенные решения способны устранить информационные разрывы между мелкими и крупными хозяйствами, но их эффективность напрямую зависит от развития инфраструктуры и цифровой грамотности сельского населения [8].

Вопросы устойчивости продовольственных систем подробно рассматриваются в ежегодных докладах FAO, где резильентность трактуется как способность системы адаптироваться к шокам и сохранять функциональность [5]. Организация выделяет необходимость баланса между эффективностью, устойчивостью и инклюзивностью, а также акцентирует значение цифровизации как инструмента адаптации. OECD и Finger подчёркивают, что цифровые инновации становятся фактором устойчивого роста, но требуют

институциональной поддержки, особенно для малых производителей [7; 9].

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, сохраняются структурные барьеры. Согласно обзорам OECD и CAPi, распространению технологий препятствуют высокая стоимость внедрения, слабая интернет-инфраструктура и дефицит кадров [3; 9]. Всемирный банк и OECD отмечают, что без единых стандартов данных и механизмов обмена информация между звеньями цепей остаётся фрагментированной, а локальные решения не дают системного эффекта [2; 11].

Серьёзное внимание в литературе уделяется рискам цифрового неравенства. CAPi подчёркивает, что крупные агрохолдинги быстрее внедряют инновации, тогда как малые хозяйства остаются на периферии цифровой экономики [3]. Такое неравенство способно привести к концентрации данных и снижению разнообразия в агросекторе. Дополнительной угрозой становится рост киберрисков и уязвимостей в цифровой инфраструктуре [7].

Таким образом, анализ литературы подтверждает, что устойчивость продовольственных систем в условиях цифровизации определяется не только технологическими инновациями, но и институциональными условиями их внедрения, экономическими стимулами и доступностью инфраструктуры. Данный вывод обосновывает использование модели «Агрологистика 4.0» как концептуальной основы исследования и применение интегрального индексного подхода для последующего сценарного анализа устойчивости продовольственных систем.

Методология исследования. Исследование носит междисциплинарный характер и основано на сочетании системного и структурно-функционального анализа, сценарного моделирования и обзора актуальных научных источников. Методологическая основа включает: авторскую концептуальную модель цифровой логистической экосистемы «Агрологистика 4.0» и интегральную макромоделю оценки глубинной трансформации мирового сельского хозяйства на основе агрегированных индикаторов.

Авторская модель «Агрологистика 4.0» рассматривает агрологистическую цепочку поставок как единую социально-техническую систему, в которой выделяются три блока: технологический, институциональный и экономический. Технологический блок отражает применение цифровых решений в мониторинге, аналитике и управлении потоками; институциональный — роль государства, рынка и хозяйств в регулировании и координации; экономический — влияние цифровизации на издержки, риски и инвестиционную активность. Эта трёхблочная структура используется как понятийная рамка при формировании сценариев и интерпретации результатов (рис. 1).

Для количественной оценки последствий глубинной трансформации на глобальном уровне разработана интегральная модель, опирающаяся на четыре агрегированных индикатора, сгруппированных по блокам:

- технологический блок — индекс продовольственного производства;
- климатический блок — объём прямых выбросов парниковых газов сельским хозяйством (farm-gate, CO₂-экв.);
- потребительский блок — среднесуточная энергетическая обеспеченность рациона (ккал/чел/сутки);

- политико-институциональный блок — расходы общего правительства на сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство в постоянных ценах.

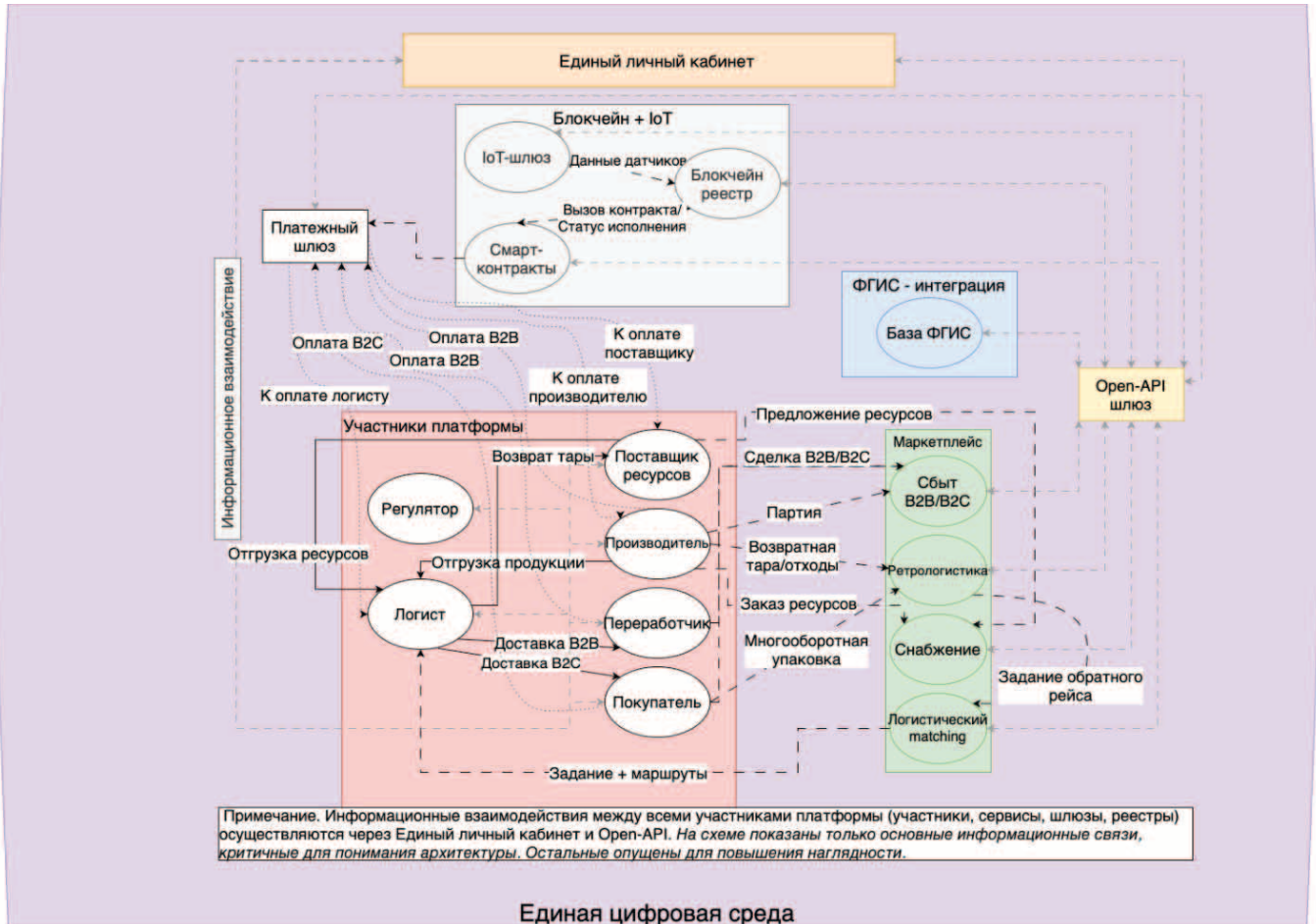
Эмпирическая база сформирована по миру в целом за 2015–2023 гг. на основе данных FAOSTAT [6]. Показатели нормируются в безразмерные частные индексы в шкале от 0 до 10: для технологического, потребительского и институционального блоков применяется линейная min-max-нормировка (рост показателя трактуется как улучшение), для климатического — инверсная шкала, при которой снижение выбросов соответствует росту индекса. Далее частные индексы агрегируются в интегральный показатель Y в виде взвешенной суммы, причём большие веса присваиваются технологическому и климатическому блокам по сравнению с потребительским и институциональным. Интегральный индекс интерпретируется как обобщённая оценка уровня глубинной трансформации и устойчивости агропродовольственной системы.

Для учёта будущей неопределённости используется сценарный подход, дополненный элементами форсайт-анализа. На основе анализа международных и отраслевых источников сформированы четыре качественных сценария, различающихся сочетанием уровней технологической готовности, климатической устойчивости и масштаба институционально-экономической поддержки. Для каждого сценария на горизонте 2035 г. задаются ориентировочные значения частных индексов четырёх блоков в 10-балльной шкале, согласованные с качественным описанием траекторий. Сценарные конфигурации подставляются в интегральную модель, что позволяет получить сценарные значения Y и сопоставить их с базовым уровнем 2023 г.

Для оценки вклада отдельных блоков факторов в изменение интегрального показателя применяется метод цепных подстановок. По этому методу общее изменение Y при переходе от базового состояния к сценарию представляется в виде суммы приростов, обусловленных последовательной заменой значений технологического, климатического, потребительского и политико-институционального индексов. Это позволяет количественно оценить, какой вклад в рост или снижение устойчивости вносят соответствующие группы факторов как в ретроспективном периоде (2015–2023 гг.), так и в рамках рассматриваемых сценариев до 2035 г.

Анализ и результаты. Анализ современных публикаций и отраслевых данных показывает, что устойчивость продовольственных систем определяется совокупным воздействием технологических, институциональных и экономических факторов. В последние годы усиливается влияние цифровизации, однако её эффект проявляется неравномерно: в одних странах наблюдается интеграция цифровых решений в логистику и агромониторинг, в других — цифровые инициативы остаются фрагментарными. Такая неоднородность связана не столько с доступностью технологий, сколько с различиями в институциональной среде, уровне инвестиций и координации участников.

Технологические факторы включают развитие платформ для обмена данными, систем мониторинга на базе IoT, применение искусственного интеллекта в прогнозировании урожайности и логистике, а также использование блокчейн-сервисов для прослеживаемости.



- > Материальный поток
-> Финансовый поток
- > Информационный поток

Рисунок 1. Интегральная модель цифровой логистической экосистемы «Агрологистика 4.0» (составлено автором)
 Figure 1. Integrated Model of the Digital Logistics Ecosystem «Agrologistics 4.0»

Эти решения обеспечивают рост прозрачности и сокращение потерь вдоль цепочки поставок. Однако их внедрение требует инфраструктуры, стандартов и устойчивых каналов связи, что становится ограничением для многих регионов.

Институциональные факторы связаны с наличием нормативной базы, согласованностью политики и уровнем межведомственного взаимодействия. Отраслевые обзоры FAO и OECD отмечают, что без координации и общих стандартов цифровизация не формирует системного эффекта, оставаясь локальной. При этом успешные кейсы (например, интеграция ePhyto в международную торговлю) показывают, что институциональная поддержка ускоряет внедрение цифровых решений и укрепляет продовольственную устойчивость.

Экономические факторы включают инвестиционную активность, доступность финансирования и рыночные стимулы. Цифровизация требует капитальных вложений, но одновременно снижает операционные издержки и повышает адаптивность цепочек поставок. Внедрение цифровых решений в агрологистике способно сокращать потери на 10–15%, однако выгоды распределяются неравномерно: крупные компании получают преимущества быстрее, чем

Таблица 1. Классификация факторов устойчивости продовольственных систем
 Table 1. Classification of Factors Affecting Food System Resilience

Группа факторов	Ключевые проявления	Влияние на устойчивость
Технологические	IoT, блокчейн, AI, цифровые двойники, платформенные решения	Повышают прозрачность, сокращают потери, но требуют инфраструктуры и кадров
Институциональные	Нормативная база, стандарты данных, координация органов, образование	Определяют согласованность действий, доступ к инновациям и доверие участников
Экономические	Инвестиции, субсидии, рыночные стимулы, энергозатраты	Влияют на доступность технологий и способность к адаптации в кризисных условиях
Климатические	Выбросы farm-gate, экстремальные погодные риски, деградация ресурсов	Формируют ограничения устойчивости, повышают риски сбоев и требуют мер адаптации и декарбонизации

малые производители. Это формирует необходимость целевой государственной поддержки и программ цифрового выравнивания.

Климатические факторы включают рост частоты экстремальных явлений, деградацию природных ресурсов и увеличение углеродной нагрузки аграрного производства. Они повышают волатильность поставок и цен, усиливают риски сбоев в логистике и определяют необходимость интеграции механизмов адаптации и снижения выбросов в цифровые стратегии. Систематизация факторов представлена в таблице 1.

На основе анализа источников выделено, что влияние факторов носит системный характер: технологические инновации усиливают эффект только при наличии институциональной поддержки и экономических стимулов. Отсутствие хотя бы одного элемента снижает результативность цифровизации.

Для оценки последствий таких взаимосвязей проведено сценарное моделирование, основанное на двух ключевых осях неопределённости: технологическая готовность (от фрагментарной до интегрированной цифровизации)





и институционально-экономическая поддержка (от низкой до высокой) (рис. 2). Климатический и потребительский контуры в рамках сценариев рассматриваются как критические условия устойчивости и далее учитываются количественно при расчёте интегрального индекса.

Пересечение осей формирует четыре сценария развития.

Сценарий 1. Цифровой прорыв (оптимистичный). Технологии и политика развиваются синхронно. Принятие нормативных актов (EUDR, Data Act, AI Act) и массовое внедрение IoT, блокчейн и ИИ создают единую инфраструктуру данных. Формируется интегрированная экосистема «от поля до прилавка», потери сокращаются на треть, а устойчивость к климатическим и рыночным шокам возрастает многократно.

Сценарий 2. Технологии без координации (разбалансированный рост). Цифровизация идёт неравномерно: крупные корпорации формируют изолированные платформы, отсутствуют единые стандарты и протоколы обмена. Сохраняется цифровое неравенство между регионами и странами, растут транзакционные издержки. При кризисах система реагирует медленно, что снижает её адаптивность.

Сценарий 3. Институциональный рост без технологий (административный оптимизм). Государства усиливают регулирование и поддержку

агросектора, но технологическое внедрение остаётся фрагментарным. Управляемость возрастает, однако эффективность низкая, а решения принимаются с запозданием. Продовольственная безопасность обеспечивается административными, а не цифровыми мерами.

Сценарий 4. Фрагментация и уязвимость (пессимистичный). Ослабление институтов и технологическое отставание ведут к росту издержек и потерь. Усиление протекционизма, климатические шоки и сбои логистики вызывают ценовую волатильность и риск продовольственных кризисов. Отсутствие цифрового мониторинга делает систему неспособной к адаптации.

Сравнение сценариев показало, что устойчивость продовольственных систем обеспечивается не количеством цифровых решений, а их встраиванием в согласованную институционально-экономическую среду. Максимальная резильентность достигается в сбалансированных моделях, где технологические инновации подкреплены политикой, стандартами и инвестициями.

Количественная оценка глубинной трансформации мирового сельского хозяйства на основе интегрального индекса.

Система показателей и исходные данные. Для эмпирической оценки последствий глубинной трансформации мирового сельского

хозяйства предложена многофакторная модель, основанная на четырёх блоках факторов: технологическом, климатическом, потребительском и политико-институциональном. Каждый блок представлен агрегированным макроиндикатором, для которого доступны сопоставимые временные ряды по миру за период 2015–2023 гг.

Технологический блок характеризуется индексом продовольственного производства (Gross Production Index Number, базис 2014–2016 гг. = 100), который отражает совокупную динамику выпуска сельскохозяйственной продукции, с учётом изменений урожайности, структуры производства и внедрения технологий. Данные за 2015–2023 гг. получены по миру в целом из базы FAOSTAT (group Production, domain Production indices).

Климатический блок описывается показателем прямых выбросов парниковых газов на уровне сельскохозяйственных предприятий (Emissions (CO₂e), farm-gate, оценка AR5). Под farm-gate понимаются выбросы, возникающие в результате растениеводческих и животноводческих процессов в хозяйствах, без учёта последующих стадий переработки, транспортировки и потребления. Соответствующие данные за 2015–2023 гг. взяты из домена Emissions — Agrifood Systems FAOSTAT.

Институциональный рост без технологий

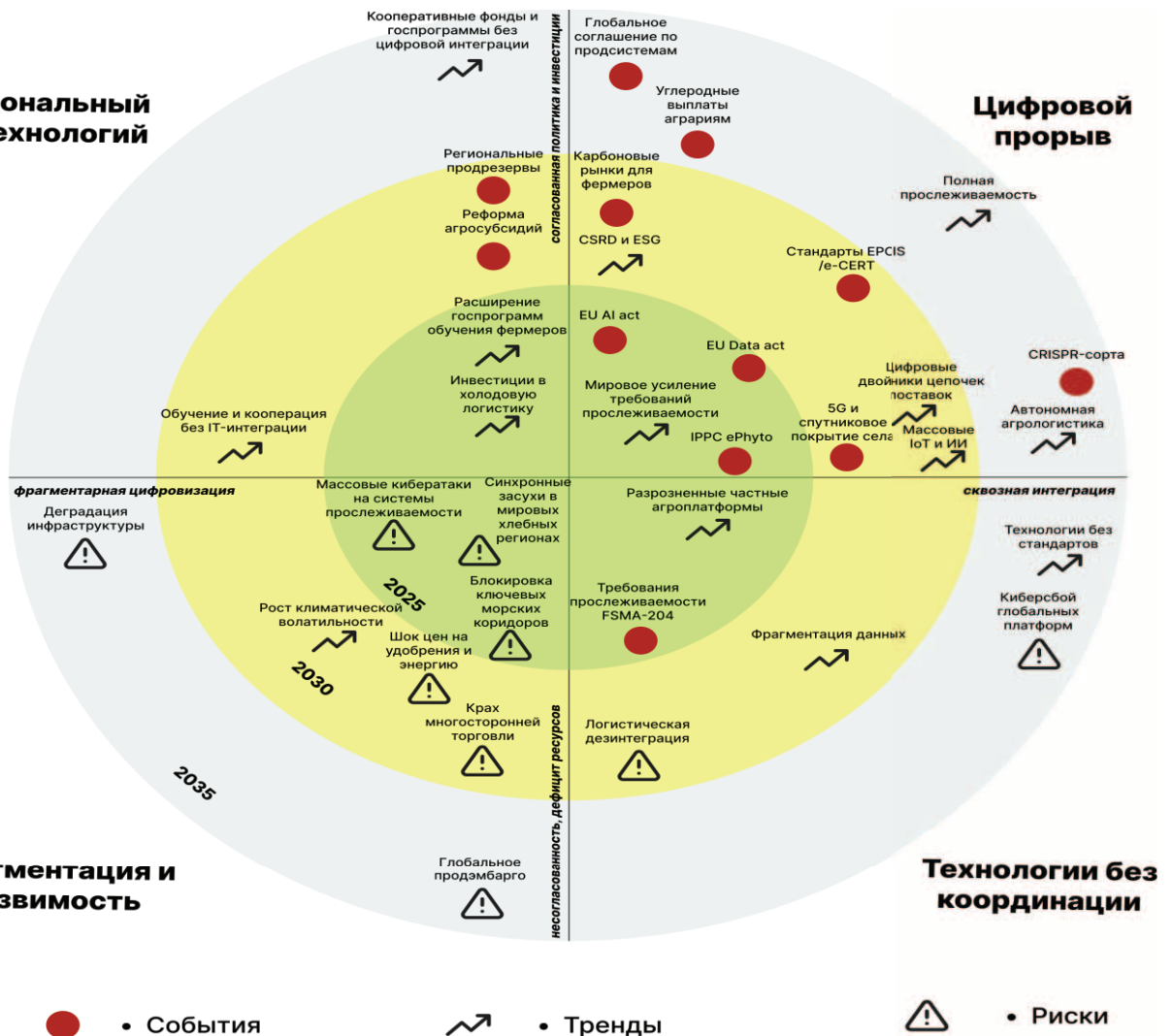


Рисунок 2. Сценарная матрица факторов устойчивости продовольственных систем на горизонте до 2035 года
Figure 2. Scenario Matrix of Factors Affecting Food System Resilience up to 2035



Потребительский блок представлен показателем среднесуточной энергетической обеспеченности рациона (Food supply, kcal/capita/day), рассчитываемым на основе продовольственных балансов. Данный индикатор характеризует объём пищевой энергии, доступной в среднем на человека в сутки, и служит прокси-показателем для анализа эволюции глобального спроса и доступности продовольствия. Временной ряд по миру за 2015–2023 гг. сформирован на основе домена Food Balances (2010-) FAOSTAT.

Политико-институциональный блок описывается показателем государственных расходов на сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство на высшем уровне управления (Government expenditure, SDG 2.a.1: Agriculture, forestry, fishing (highest government level expenditure), в постоянных ценах 2015 г.). Данные по миру за 2015–2023 гг. получены из домена Investment — Government Expenditure FAOSTAT. Показатель отражает масштабы вовлечения правительства в финансирование аграрного и смежных с ним секторов и интерпретируется как агрегированная мера государственной поддержки агропродовольственной системы.

Таким образом, исходный массив данных представляет собой панель по четырём показателям T, C, B, P на горизонте 2015–2023 гг. для мира в целом. На основе этих рядов формируется система нормированных индексов и интегральный показатель глубинной трансформации.

Нормировка показателей и построение частных индексов.

Поскольку исходные показатели имеют различную размерность (индекс, тоннажи в пересчёте на CO₂-эквивалент, ккал/чел/сутки, доллары США), их прямое сопоставление и агрегация невозможны. Для приведения показателей к сопоставимому виду применяется линейная нормировка в шкале от 0 до 10. При этом диапазоны нормировки заданы на основе фактических минимумов и максимумов соответствующих рядов за период 2015–2023 гг.

Для «положительно направленных» показателей (технологический, потребительский и политический блоки), рост которых трактуется как улучшение состояния системы, используется стандартная min-max-нормировка. Исходное значение X (например, T, B или P) преобразуется в безразмерный индекс I_X ∈ [0;10] по линейной формуле:

$$I_X = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} * 10,$$

где X_{min} и X_{max} — минимальное и максимальное значения показателя за 2015–2023 гг. Таким образом формируются индексы T_{index}, B_{index} и P_{index}.

Для «отрицательно направленного» показателя (выбросы парниковых газов), рост которого интерпретируется как ухудшение условий устойчивого развития, применяется обратная шкала:

$$C_{index} = \frac{X_{max} - C}{X_{max} - X_{min}} * 10,$$

где C — фактический объём выбросов, X_{min}, X_{max} — минимум и максимум по соответствующему ряду за 2015–2023 гг. В этом случае более низкий уровень выбросов соответствует более высокому значению индекса C_{index}, что согласуется с трактовкой климатического блока как «положительного» при снижении эмиссий.

В дальнейшем значения частных индексов рассматриваются как элементы фиксированной шкалы от 0 до 10. В случаях, когда при расширении временного горизонта фактические значения показателя выходят за пределы исходного калибровочного интервала [X_{min}; X_{max}], полученное нормированное значение приводится к ближайшей границе интервала [0;10]. Это необходимо для сохранения интерпретации индексов как ограниченной шкалы и обеспечения сопоставимости оценок между годами и сценариями. При устойчивом выходе наблюдений за пределы исходного диапазона возможна повторная калибровка параметров [X_{min}; X_{max}] на основе расширенного набора данных при сохранении общей структуры модели и правил агрегирования.

Интегральный индекс глубинной трансформации.

Для агрегирования информации о четырёх блоках факторов вводится интегральный индекс глубинной трансформации мирового сельского хозяйства Y. Он интерпретируется как обобщённая оценка состояния глобальной агропродовольственной системы с точки зрения уровня технологического развития, устойчивости к климатическим рискам, обеспеченности продовольствием и масштаба государственной поддержки.

Интегральный индекс формируется в виде взвешенной суммы частных индексов:

$$Y = a_T T_{index} + a_B B_{index} + a_P P_{index} + a_C C_{index}$$

где a_T, a_B, a_P, a_C — весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость соответствующих блоков. В настоящем исследовании веса нормированы к единице:

$$a_T + a_B + a_P + a_C = 1.$$

С учётом ключевой роли технологических и климатических факторов в долгосрочной устойчивости агропродовольственных систем,

а также заметного, но несколько более опосредованного влияния потребительского блока и государственной политики, принята следующая структура весов:

$$a_T = 0,3, a_C = 0,3, a_B = 0,2, a_P = 0,2.$$

Данная спецификация согласуется с подходами многокритериального анализа и обеспечивает прозрачную интерпретацию вклада каждого фактора. При необходимости структура весов может быть уточнена на основе экспертного опроса или эконометрического оценивания по панельным данным.

В результате для каждого года t ∈ [2015; 2023] формируется набор частных индексов T_{index,t}, C_{index,t}, B_{index,t}, P_{index,t} и соответствующее значение интегрального показателя Y_t.

Проведённые расчёты показали, что в рассматриваемый период для мира в целом наблюдается существенный рост технологического и потребительского индексов при одновременном ухудшении климатического компонента и волнообразной динамике индекса государственной поддержки.

Индекс продовольственного производства (T_{raw}) за 2015–2023 гг. демонстрирует устойчивый рост, что отражается в увеличении нормированного технологического индекса T_{index} с минимальных значений в начале периода до 8–10 баллов в 2021–2023 гг. При этом среднесуточная энергетическая обеспеченность рациона (B_{raw}) также растёт, что приводит к повышению индекса потребительского блока B_{index} до сопоставимых значений. Таким образом, к 2022–2023 гг. технологический и потребительский блоки находятся близко к верхней границе заданного диапазона.

В то же время, объём прямых выбросов парниковых газов аграрным сектором (C_{raw}) имеет тенденцию к росту, вследствие чего климатический индекс C_{index} последовательно снижается. Если в 2015 г. значение C_{index} соответствует условно благоприятному уровню (верхняя часть шкалы), то к 2022 г. индекс опускается до ~2 баллов, а в 2023 г. приближается к нижней границе диапазона. Это означает, что технологический прогресс и расширение продовольственного предложения достигаются при сохраняющейся высокой климатической нагрузке.

Индекс государственной поддержки P_{index} построенный на основе показателя государственных расходов по SDG 2.a.1, демонстрирует волнообразную динамику: быстрый рост до 2020 г., соответствующий пиковым значениям расходов (в том числе в связи с мерами реагирования на пандемийные шоки), затем частичное снижение и последующее восстановление в 2022–2023 гг.

Таблица 2. Исходные макроиндикаторы и нормированные индексы глубинной трансформации мирового сельского хозяйства в 2015–2023 гг.
Table 2. Baseline Macroindicators and Normalized Indices of the Deep Transformation of Global Agriculture, 2015–2023

Год	T _{raw}	C _{raw} (CO ₂ eq)	B _{raw} (ккал/чел/сут)	P _{raw} (US\$)	T _{index}	C _{index}	B _{index}	P _{index}	Y
2015	99.94	7 509 603	2888.55	558 198	0.000	10.000	0.000	0.000	3.000
2016	101.34	7 584 833	2895.45	562 687	0.991	8.719	0.541	0.399	3.101
2017	104.05	7 707 200	2921.15	569 799	2.909	6.636	2.558	1.031	3.581
2018	105.23	7 701 697	2926.08	595 580	3.744	6.730	2.945	3.322	4.395
2019	106.36	7 731 745	2941.79	625 370	4.544	6.218	4.177	5.969	5.258
2020	108.09	7 834 438	2952.62	670 737	5.768	4.470	5.027	10.000	6.077
2021	110.84	7 928 673	2974.94	617 420	7.714	2.865	6.778	5.262	5.582
2022	112.04	7 966 443	2997.70	612 577	8.563	2.222	8.564	4.832	5.915
2023	114.07	8 096 973	3016.00	650 020	10.000	0.000	10.000	8.159	6.632





В нормированном виде это выражается в росте P_{index} до 10 баллов в 2020 г., последующем снижении и приближении к верхней части шкалы в 2023 г., но с менее выраженным максимумом, чем в период антикризисных мер.

Агрегация частных индексов в интегральный показатель Y позволяет количественно оценить совокупный эффект глубинной трансформации. Согласно расчётам, значение интегрального индекса для мира в целом выросло с порядка 3,0 балла в 2015 г. до 5,3–5,6 балла в 2019–2021 гг. и около 5,9 балла в 2022 г., отражая преимущественно влияние технологического и потребительского блоков при умеренной поддержке со стороны государственной политики и ухудшении климатического компонента. В 2023 г. интегральный индекс приближается к 6,6 балла, однако этот рост обеспечивается уже в условиях практически минимального значения климатического индекса, что свидетельствует о нарастании дисбаланса между ростом производственных и потребительских возможностей, с одной стороны, и устойчивостью к климатическим рискам — с другой.

Полученные результаты в целом подтверждают известные факты о развитии мировой агропродовольственной системы в последние годы (ускорение технологического прогресса и рост доступности продовольствия при сохраняющихся климатических ограничениях и неоднородной динамике государственной поддержки). Вклад предлагаемой модели заключается в формализации этих процессов в виде интегрального индекса, основанного на сопоставимых макроиндикаторах, и создании базы для дальнейшего сценарного анализа. Наличие частных индексов по четырём блокам и интегрального показателя Y позволяет, во-первых, сопоставлять текущее состояние мировой агросистемы с альтернативными сценариями глубинной трансформации, а во-вторых, разлагать изменения интегрального индекса по группам факторов методом цепных подстановок, количественно оценивая вклад технологических, климатических, потребительских и институциональных драйверов.

Разложение изменений интегрального индекса методом цепных подстановок.

Для количественной оценки вклада отдельных групп факторов в изменение интегрального показателя глубинной трансформации Y при переходе от базового состояния к альтернативным сценариям используется метод цепных подстановок. В качестве базового состояния в настоящем исследовании принимается конфигурация индексов, соответствующая 2022 г., а в качестве альтернативы рассматриваются сценарные значения индексов на целевом горизонте (например, 2035 г.).

Обозначим через $T^{(0)}, C^{(0)}, B^{(0)}, P^{(0)}$ значения нормированных индексов для базового года и через $T^{(1)}, C^{(1)}, B^{(1)}, P^{(1)}$ — значения индексов для рассматриваемого сценария. Интегральный показатель в общем виде записывается как

$$Y = f(T_{index}, B_{index}, P_{index}, C_{index}),$$

где в рамках принятой спецификации функция $f(\cdot)$ имеет линейный вид (3). Тогда значение интегрального индекса в базе и в сценарии, соответственно, равно

$$Y^{(0)} = f(T^{(0)}, C^{(0)}, B^{(0)}, P^{(0)}), Y^{(1)} = f(T^{(1)}, C^{(1)}, B^{(1)}, P^{(1)}).$$

Метод цепных подстановок предполагает последовательную замену базовых значений факторов на сценарные с пересчётом инте-

грального индекса на каждом шаге. При выбранном порядке подстановки (например, технологии → климатический блок → потребительский блок → государственная политика) шаги могут быть представлены следующим образом.

1. Базовое значение интегрального индекса:

$$Y^{(0)} = f(T^{(0)}, C^{(0)}, B^{(0)}, P^{(0)}).$$

2. Замена технологического блока:

$$Y^{(1T)} = f(T^{(1)}, C^{(0)}, B^{(0)}, P^{(0)}), \Delta Y_T = Y^{(1T)} - Y^{(0)}.$$

3. Дополнительная замена климатического блока:

$$Y^{(1TC)} = f(T^{(1)}, C^{(1)}, B^{(0)}, P^{(0)}), \Delta Y_C = Y^{(1TC)} - Y^{(1T)}.$$

4. Замена показателя потребительского поведения:

$$Y^{(1TCB)} = f(T^{(1)}, C^{(1)}, B^{(1)}, P^{(0)}), \Delta Y_B = Y^{(1TCB)} - Y^{(1TC)}.$$

5. Замена политико-институционального блока:

$$Y^{(1TCBP)} = f(T^{(1)}, C^{(1)}, B^{(1)}, P^{(1)}), \Delta Y_P = Y^{(1TCBP)} - Y^{(1TCB)}.$$

В результате общее изменение интегрального индекса при переходе от базового состояния к сценарию представляется в виде суммы вкладов отдельных блоков факторов:

$$\Delta Y = Y(1) - Y(0) = \Delta Y_C + \Delta Y_T + \Delta Y_B + \Delta Y_P.$$

Полученные значения $\Delta Y_T, \Delta Y_C, \Delta Y_B, \Delta Y_P$ интерпретируются как вклад, соответственно, технологического, климатического, потребительского и политико-институционального блоков в изменение интегрального показателя глубинной трансформации между базовым годом и рассматриваемым сценарием. Это позволяет не только сопоставлять различные сценарии по уровню интегрального индекса Y , но и количественно оценивать структуру факторов, определяющих рост или снижение данного показателя.

Проведённые расчёты по данным FAO за 2015–2023 гг. показали, что интегральный индекс глубинной трансформации мирового сельского хозяйства Y , агрегирующий технологический, климатический, потребительский и политико-институциональный блоки, демонстрирует устойчивый рост: с 3,0 балла в 2015 г. до 6,63 балла в 2023 г. При этом динамика частных индексов существенно неоднородна.

Технологический индекс T_{index} построенный на основе индекса продовольственного производства, возрастает с минимальных значений в начале периода до 10 баллов в 2023 г., что отражает значительное ускорение роста выпуска и производительности. Потребительский индекс B_{index} основанный на показателе средне-суточной энергетической обеспеченности рациона, также последовательно увеличивается и к 2023 г. достигает верхней границы шкалы (10 баллов), что свидетельствует о расширении доступности продовольствия на глобальном уровне. Индекс государственной поддержки P_{index} рассчитанный по данным о государственных расходах на сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство (SDG 2.a.1), имеет волнообразную динамику: резкий рост в 2020 г. на фоне антикризисных мер, последующее снижение и частичное восстановление до 8,16 балла в 2023 г.

В отличие от указанных блоков, климатический индекс C_{index} построенный на основе объёма выбросов парниковых газов сельским хозяйством (farm-gate, CO₂-эквивалент), демонстрирует ухудшение: его значения снижаются

с 10 баллов в 2015 г. до 0 баллов в 2023 г., что отражает рост климатической нагрузки и отсутствие устойчивого прогресса в декарбонизации аграрного сектора. Таким образом, к 2023 г. мировая агропродовольственная система характеризуется высоким уровнем технологического развития и потребительского обеспечения при крайне неблагоприятных параметрах климатического блока и неоднородной динамике государственной поддержки.

Для количественной оценки вклада отдельных блоков факторов в изменение интегрального индекса Y между 2015 и 2023 гг. применён метод цепных подстановок. При последовательной замене нормированных индексов базового года (2015 г.) на значения 2023 г. (в порядке «технологический блок → климатический блок → потребительский блок → государственная политика») получены следующие результаты. Технологический блок обеспечивает прирост интегрального показателя на +3,0 балла, но данный эффект практически полностью компенсируется ухудшением климатического компонента (вклад климатического блока составляет -3,0 балла). Потребительский блок вносит положительный вклад в размере +2,0 балла, отражающий рост энергетической обеспеченности рационов, а политико-институциональный блок добавляет ещё +1,63 балла за счёт увеличения объёма государственных расходов на аграрный сектор к 2023 г. В совокупности это приводит к общему приросту интегрального индекса на 3,63 балла (с 3,0 до 6,63 балла), при этом структура вкладов свидетельствует о том, что эффект технологического прогресса и расширения потребительского спроса реализуется на фоне сохраняющегося климатического дисбаланса и значительной роли государственной поддержки.

Для анализа возможных траекторий дальнейшей глубинной трансформации мировой агропродовольственной системы интегральная модель дополнена сценарным блоком. В качестве базового состояния для сценарного анализа рассматривается конфигурация частных индексов в 2023 г.:

$$T_{index,2023} = 10,0; C_{index,2023} = 0,0; B_{index,2023} = 10,0; P_{index,2023} \approx 8,16; Y_{2023} \approx 6,63.$$

На горизонте 2035 г. выделены четыре качественных сценария, которым сопоставлены ориентировочные значения частных индексов в 10-балльной шкале.

1. «Прорыв» — сценарий согласованного ускорения технологического развития, активной климатической политики и расширения государственной поддержки при сохранении высокой обеспеченности продовольствием. В параметризации модели он характеризуется следующими целевыми значениями индексов:

$$T_{index}^{np} = 10,0; C_{index}^{np} = 7,0; B_{index}^{np} = 9,5; P_{index}^{np} = 9,5.$$

Предполагается, что технологический и потребительский блоки сохраняют значения вблизи верхней границы шкалы, климатический блок существенно улучшается, а государственная поддержка усиливается.

2. «Дисбаланс» — сценарий, при котором сохраняется высокий технологический уровень и высокая обеспеченность продовольствием, но климатическая политика остаётся малоэффективной, а государственная поддержка снижается:

$$T_{index}^{dic} = 9,0; C_{index}^{dic} = 1,0; B_{index}^{dic} = 9,8; P_{index}^{dic} = 3,0.$$



Таблица 3. Сценарные значения частных индикаторов и интегрального показателя глубинной трансформации на горизонте 2035 г.
Table 3. Scenario Values of Partial Indices and the Aggregate Indicator of the Deep Transformation of Global Agriculture for 2035

Сценарий	T_{index}	C_{index}	B_{index}	P_{index}	Y_{2035}	$\Delta Y_{2035-2023}$
«Прорыв»	10	7	9,5	9,5	8,9	2,27
«Дисбаланс»	9	1	9,8	3	5,56	-1,07
«Административный рост»	7	3	8,5	9,5	6,6	-0,03
«Фрагментация»	4	1	6	2	3,1	-3,53

3. «Административный рост» — сценарий усиления государственной поддержки и частичного улучшения климатического блока на фоне умеренного технологического прогресса и несколько более сдержанного роста потребительского блока:

$$T_{index}^{ADM} = 7,0; C_{index}^{ADM} = 3,0; B_{index}^{ADM} = 8,5; P_{index}^{ADM} = 9,5.$$

4. «Фрагментация» — сценарий нарастания институциональных и геополитических разрывов, при котором технологический прогресс замедляется, доступность продовольствия ухудшается, государственная поддержка сокращается, а климатический блок остаётся слабым:

$$T_{index}^{FP} = 4,0; C_{index}^{FP} = 1,0; B_{index}^{FP} = 6,0; P_{index}^{FP} = 2,0.$$

Указанные значения индексов носят ориентировочный характер и интерпретируются как согласованные с качественными описаниями соответствующих сценариев конфигурации агропродовольственной системы на горизонте 2035 г.

Сценарные значения интегрального индекса и сравнение с базой.

На основе интегральной модели для каждого сценария рассчитано значение интегрального индекса Y_{2035} и его отклонение от базового уровня 2023 г. Результаты отражены в таблице 3.

Согласно расчётам, только сценарий «Прорыв» обеспечивает существенное увеличение интегрального индекса по сравнению с текущей конфигурацией факторов: Y возрастает с 6,63 до 8,90 балла (прирост +2,27 балла). Сценарий «Административный рост» лишь незначительно отличается от базового состояния (6,60 против 6,63 балла), что отражает компенсирующее действие усиления государственной поддержки и частичного улучшения климатического блока при замедлении технологического прогресса и умеренном снижении потребительского индекса. В сценарии «Дисбаланс» интегральный показатель снижается до 5,56 балла (-1,07 балла к базовому уровню) за счёт слабой климатической и институциональной составляющих при сохранении высоких значений технологического и потребительского блоков. Наиболее неблагоприятная траектория наблюдается в сценарии «Фрагментация», где значение Y падает до 3,10 балла (-3,53 балла к уровню 2023 г.), что отражает одновременно низкие значения всех четырёх блоков.

Факторное разложение сценария «Прорыв» относительно 2023 г.

Для более детального анализа сценария «Прорыв» проведено разложение изменения интегрального индекса Y между базовым состоянием (2023 г.) и целевым уровнем сценария на горизонте 2035 г. методом цепных подстановок. В качестве исходной конфигурации принимаются индексы 2023 г.:

$$T_{index}^{(0)} = 10,0; C_{index}^{(0)} = 0,0; B_{index}^{(0)} = 10,0; P_{index}^{(0)} \approx 8,16; Y^{(0)} \approx 6,63.$$

Целевая конфигурация для сценария «Прорыв» задаётся как:

$$T_{index}^{(1)} = 10,0; C_{index}^{(1)} = 7,0; B_{index}^{(1)} = 9,5; P_{index}^{(1)} = 9,5; Y^{(0)} = 8,90.$$

При последовательной замене базовых индексов на сценарные (в порядке «Т→С→В→Р») получены следующие приращения интегрального показателя:

- вклад технологического блока $\Delta Y_T = 0,0$ балла (поскольку индекс T_{index} уже достиг верхней границы шкалы в 2023 г.);
 - вклад климатического блока $\Delta Y_C \approx +2,10$ балла за счёт улучшения индекса C_{index} с 0 до 7;
 - вклад потребительского блока $\Delta Y_B \approx -0,10$ балла, отражающий умеренное снижение B_{index} с 10 до 9,5 в условиях возможной стабилизации или частичной коррекции структуры потребления;
 - вклад политико-институционального блока $\Delta Y_P \approx +0,27$ балла, обусловленный ростом P_{index} с 8,16 до 9,5.
- В сумме:

$$\Delta Y = \Delta Y_T + \Delta Y_C + \Delta Y_B + \Delta Y_P \approx \approx 0,0 + 2,10 - 0,10 + 0,27 \approx 2,27 \text{ балла}$$

что соответствует разности $Y^{(1)} - Y^{(0)}$. Таким образом, сценарий «Прорыв» предполагает, что дальнейшее значимое улучшение интегрального индекса достигается в первую очередь за счёт радикального повышения климатической устойчивости аграрного сектора и дополнительного усиления государственной поддержки, тогда как пространство для дальнейшего роста технологического и потребительского блоков в рамках выбранной шкалы практически исчерпано. Это подчёркивает, что в условиях уже достигнутых высоких уровней технологического развития и обеспеченности продовольствием ключевым фактором углубления трансформации становится климатическая и институциональная компонента.

Заключение и предложения. Результаты исследования показали, что предложенная многофакторная модель глубинной трансформации мирового сельского хозяйства, основанная на четырёх блоках факторов (технологическом, климатическом, потребительском и политико-институциональном) и интегральном индексе Y , позволяет количественно оценивать динамику и структуру изменений агропродовольственных систем. На основе данных FAO за 2015–2023 г. установлено, что значение интегрального индекса для мира в целом возросло с 3,0 балла в 2015 г. до 6,63 балла в 2023 г., что отражает существенное углубление трансформационных процессов. При этом технологический и потребительский блоки к 2023 г. достигают значений, близких к верхней границе шкалы, тогда как климатический блок демонстрирует деградацию, а динамика государственной поддержки носит волнообразный характер.

Факторное разложение изменения интегрального индекса методом цепных подстановок показало, что за период 2015–2023 гг. технологический блок обеспечивает прирост Y на +3,0 балла, однако данный эффект практически полностью компенсируется ухудшением климатического компонента (вклад климатического блока составляет -3,0 балла). Дополнительный положительный вклад формируется за счёт потребительского блока (+2,0 балла) и политико-институционального блока (+1,63 балла). Таким образом, наблюдаемый рост интегрального показателя в значительной мере обусловлен сочетанием технологического прогресса, расширения доступности продовольствия и усиления государственной поддержки при сохраняющемся климатическом дисбалансе. Это позволяет сделать вывод, что без корректировки климатической и институциональной составляющих потенциал цифровизации и технологического развития для долгосрочного повышения устойчивости продовольственных систем остаётся ограниченным.

Сценарный анализ на горизонте 2035 г., проведённый на основе той же интегральной модели, подтвердил высокую чувствительность результирующего показателя к конфигурации климатического и институционального блоков. Сценарий «Прорыв», предполагающий сохранение высокой технологической и потребительской составляющей при существенном улучшении климатического индекса и усилении государственной поддержки, обеспечивает рост интегрального индекса до 8,90 балла (прирост +2,27 балла к уровню 2023 г.). Разложение изменения Y в этом сценарии показывает, что ключевой вклад в дополнительный рост дают улучшение климатического блока и усиление политики поддержки, тогда как пространство для дальнейшего увеличения технологического и потребительского индексов в рамках принятой шкалы практически исчерпано. В противоположность этому сценарий «Фрагментация» ведёт к снижению интегрального индекса до 3,10 балла, что соответствует фактическому откату к состоянию середины 2010-х годов. Промежуточные сценарии («Дисбаланс», «Административный рост») демонстрируют, что ни преимущественно технологический, ни преимущественно институциональный вектор без согласования с климатической повесткой не приводят к существенному улучшению интегрального показателя по сравнению с текущей конфигурацией 2023 г.

Полученные результаты встраиваются в ранее разработанную авторскую концепцию цифровой логистической экосистемы «Агрологистика 4.0», согласно которой цифровые решения (IoT, блокчейн, искусственный интеллект, аналитика больших данных) выступают не самостоятельным источником устойчивости, а элементом более широкого институционально-экономического контура. Интегральная модель глубинной трансформации показывает, что при уже достигнутом высоком уровне технологической и потребительской зрелости дальнейшее повышение устойчивости агропродовольственных систем определяется, прежде всего, качеством климатической политики, характером государственной поддержки и способностью институтов обеспечить согласованное развитие логистической инфраструктуры и механизмов регулирования.





С учётом результатов эмпирической оценки и сценарного анализа целесообразно выделить следующие приоритетные направления действий:

- Институциональное упорядочение и стандартизация — разработка и внедрение согласованных нормативных требований и стандартов обмена данными в агрологистике, обеспечивающих сопоставимость, прослеживаемость и интеграцию цифровых сервисов;
- Экономическое стимулирование устойчивых решений — формирование инструментов поддержки внедрения цифровых и «зелёных» технологий (субсидии, льготное кредитование, налоговые преференции, механизмы государственных закупок продукции, отвечающей критериям устойчивости);
- Развитие цифровой и логистической инфраструктуры — создание и масштабирование платформенных решений, центров цифровой логистики, а также инфраструктуры сбора и обработки данных, доступной не только крупным, но и малым и средним хозяйствам;
- Усиление климатического компонента политики — интеграция целей по сокращению выбросов и адаптации к климатическим рискам в меры поддержки аграрного сектора, развитие механизмов мониторинга и учёта эмиссий на уровне хозяйств и логистических цепочек;
- Повышение качества стратегического управления — использование процедур форсайт-анализа, сценарного моделирования и цифровых двойников для оценки последствий управленческих решений и выбора траекторий, приближающих систему к желательным сценариям типа «Прорыв».

Комплексное применение указанных мер, ориентированное на согласованное развитие технологического, климатического, потребительского и институционального блоков, способно обеспечить дальнейший рост интегрального индекса глубинной трансформации и, соответственно, повышение устойчивости и адаптивности мировых продовольственных систем. В этом контексте модель «Агрологистика 4.0» и предложенный интегральный индекс выступают методической основой для диагностики

текущего состояния, сопоставления альтернативных траекторий развития и обоснования приоритетов цифровой трансформации агропродовольственного сектора.

Список источников

1. Дегенгардт А.А., Шумакова О.В. Интегральная модель цифровой логистической экосистемы АПК региона на основе концепций «Агрологистика 2.0», «Инфраструктурный агромаркетплейс» и сети блокчейн-IoT // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15, № 6. С. 3897-3916. DOI: 10.18334/epp.15.6.123368.
2. Business at OECD. Key Messages on Digitalization of Agriculture. — Paris: Business at OECD, 2021. 3 p. URL: <http://www.businessatoecd.org/hubfs/website/documents/pdf/Food%20and%20Agriculture/Key%20Messages%20on%20Digitalization%20of%20Agriculture-%20August%202021.pdf>.
3. CAPI (Canadian Agri-Food Policy Institute). The Future is Digital: Digital Agriculture and Canadian Agriculture Policy. Ottawa: 2025.
4. Ellahi R.M., Rauf A., Azam M. et al. Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities // Applied Sciences. 2024. Vol. 14(19). P. 1193-1210.
5. FAO. The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Rome: FAO, 2021.
6. FAOSTAT [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
7. Finger R. Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems // European Review of Agricultural Economics. 2023. Vol. 50(4). P. 745-768.
8. ISF Advisors. An Updated View of Digital Marketplace Platforms. Report, 2024.
9. OECD. The Digitalisation of Agriculture: A Literature Review and Emerging Policy Issues. Paris: OECD, 2022.
10. Wang W., Li Z., Meng Q. Digital Transformation Drivers, Technologies, and Pathways in Agricultural Product Supply Chains: A Comprehensive Literature Review // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 3. P. 499-507.
11. World Bank. Digital Agriculture Roadmap (DAR) Playbook. — Washington, D.C.: World Bank, 2025. 114 p. URL: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/099053025063021993/pdf/P508004-f943a09b-c45f-4c93-b554-9dd1dec1e7c.pdf>
12. World Bank. What's Cooking: Digital Transformation of the Agrifood System. Washington, D.C.: World Bank, 2021.

References

1. Degenhardt, A.A. & Shumakova, O.V. (2025). *Integralnaya model tsifrovoy logisticheskoy ekosistemy APK regiona na osnove kontseptsiy «Agrologistika 2.0», «Infrastrukturnyy agromarketpleys» i seti blockchain-IoT* [Integrated model of the digital logistics ecosystem of a regional agro-industrial complex based on the concepts «Agrologistics 2.0», «Infrastructure agro marketplace» and a blockchain-IoT network]. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo*, vol. 15, no. 6, pp. 3897-3916. DOI: 10.18334/epp.15.6.123368.
2. Business at OECD. (2021). Key Messages on Digitalization of Agriculture. Paris: Business at OECD, 3 p. Available at: <http://www.businessatoecd.org/hubfs/website/documents/pdf/Food%20and%20Agriculture/Key%20Messages%20on%20Digitalization%20of%20Agriculture-%20August%202021.pdf>.
3. CAPI (Canadian Agri-Food Policy Institute). (2025). *The Future is Digital: Digital Agriculture and Canadian Agriculture Policy*. Ottawa: CAPI.
4. Ellahi, R.M., Rauf, A., Azam, M. et al. (2024). Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities. *Applied Sciences*, vol. 14, no. 19, pp. 1193-1210.
5. FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Rome: FAO.
6. FAO. (2025). FAOSTAT. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>.
7. Finger, R. (2023). Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, vol. 50, no. 4, pp. 745-768.
8. ISF Advisors. (2024). *An Updated View of Digital Marketplace Platforms*. Report.
9. OECD. (2022). *The Digitalisation of Agriculture: A Literature Review and Emerging Policy Issues*. Paris: OECD.
10. Wang, W., Li, Z. & Meng, Q. (2025). Digital Transformation Drivers, Technologies, and Pathways in Agricultural Product Supply Chains: A Comprehensive Literature Review. *Applied Sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 499-507.
11. World Bank. (2025). *Digital Agriculture Roadmap (DAR) Playbook*. Washington, D.C.: World Bank, 114 p. Available at: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/099053025063021993/pdf/P508004-f943a09b-c45f-4c93-b554-9dd1dec1e7c.pdf>.
12. World Bank. (2021). *What's Cooking: Digital Transformation of the Agrifood System*. Washington, D.C.: World Bank.

Информация об авторах:

- Шумакова Оксана Викторовна**, доктор экономических наук, профессор, ректор,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3647-4497>, Scopus ID: 56446882500, Researcher ID: AAQ-4904-2021, SPIN-код: 8808-3637, ov.shumakova@omgau.org
- Крюкова Ольга Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент, начальник службы управления делами ректората и организационным развитием,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8483-5889>, SPIN-код: 5500-7500, on.kryukova@omgau.org
- Дегенгардт Александр Александрович**, младший научный сотрудник,
ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3151-3604>, SPIN-код 8538-6672, aa.degegand2206@omgau.org
- Загоренко Анастасия Александровна**, ассистент кафедры менеджмента и маркетинга,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8547-5843>, aa.zagorenko@omgau.org

Information about the authors:

- Oksana V. Shumakova**, doctor of economic sciences, professor, rector,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3647-4497>, Scopus ID: 56446882500, Researcher ID: AAQ-4904-2021, SPIN-code: 8808-3637, ov.shumakova@omgau.org
- Olga N. Kryukova**, candidate of economic sciences, associate professor, head of the office of the rectorate and organizational development,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8483-5889>, SPIN-code: 5500-7500, on.kryukova@omgau.org
- Aleksandr A. Degengardt**, junior researcher,
ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3151-3604>, SPIN-code: 8538-6672, aa.degegand2206@omgau.org
- Anastasiya A. Zagorenko**, assistant of the department of management and marketing,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8547-5843>, SPIN-code: 9886-0877, aa.zagorenko@omgau.org